การวิเคราะห์การใช้พลังงานของคนงานตามลักษณะกิจกรรมต่างๆในงานก่อสร้างในประเทศไทย
Analysis of the energy consumption of workers of activities in construction in Thailand

พัชรพงษ์ ชนะกานนท์[1] และ วรรณวิทย์ แต้มทอง[2]
[1]นักศึกษาปริญญาโท สาขาการบริหารงานก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร
**Corresponding author; E-mail address : s6301082856092@email.kmutnb.ac.th[1] , wannawit.t@eng.kmutnb.ac.th[2]*

บทคัดย่อ

ผลิตภาพในงานก่อสร้างคือผลผลิตที่ได้จากการที่ผู้รับเหมาทำงานโดยใช้ทรัพยากรในการก่อสร้าง การได้ผลิตผลของงานก่อสร้างนั้นล้วนมาจากการทำงานของคนงาน สิ่งที่สำคัญในการทำงานของคนงานก็คือพลังงานที่ใช้ในการทำงาน เพื่อศึกษาพลังงานที่ต้องใช้สำหรับกิจกรรมต่างๆในงานก่อสร้าง ดำเนินการวัดค่าพลังงานต่อกิจกรรมในหน่วยกิโลแคลอรีต่อนาที (kcal./minute) โดยดำเนินการใช้เครื่องมือวัดอัตราการเต้นของหัวใจของคนงานในแต่ละกิจกรรม เก็บข้อมูลด้วยวิธีการประเมินแบบราย 5 นาทีเพื่อหาอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยนำมาคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ของคนงานและแสดงปริมาณผลงานที่คนงานสามารถทำได้ใน 20 กิจกรรมก่อสร้างของงานก่อสร้างในประเทศไทย นำผลข้อมูลที่ได้จากการจัดเก็บนำมาวิเคราะห์ตัวอย่างถึงระยะเวลาที่สามารถในการทำงาน และระยะเวลาพักของคนงานในแต่ละงาน นำมารวบรวมผลและสรุปข้อมูล เพื่อเป็นประโยชน์กับผู้รับเหมาในการวางแผนการใช้แรงงาน

คำสำคัญ: ค่าพลังงานที่ใช้ในการก่อสร้าง, การประเมินแบบ 5 นาที, ผลิตภาพ

Abstract

Construction productivity is the product produced by contractors using construction resources. The productivity of construction comes entirely from the work of workers. The most important thing in work is the energy of work. Study the energy required for construction activities. Measures energy per activity in kilocalories per minute (kcal./minute) by performing a worker's heart rate measurement tool in each activity. Collect data with a 5-minute rating method. In order to determine the average heart rate, the calculation method of workers' energy is put forward. Shows the amount of work a worker can accomplish in 20 construction activities of construction in Thailand. Bring the results of the data collected to analyze the samples for a period of time that they can work and the rest time of workers in each job. Used to collect the results and summarize the data For the benefit of contractors in planning the use of labor

Keywords: Energy consumption in construction, 5 minute rating, Productivity

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สิ่งที่สำคัญที่สุดในการทำงานแต่ละกิจกรรมของคนงานก็คือพลังงานที่ใช้ในการทำงาน ในต่างประเทศมีการเก็บข้อมูลพลังงานที่สูญเสียไประหว่างการทำงาน โดยมีการเก็บข้อมูลตามลักษณะกิจกรรมในงานก่อสร้าง แต่ข้อมูลที่มีการจัดเก็บนั้นเป็นข้อมูลจำเพาะไม่ระบุชัดเจนถึงภูมิประเทศ และภูมิอากาศ ซึ่งมีผลต่อการทำงานของคนงาน ทั้งนี้เห็นว่าการเก็บข้อมูลดังกล่าวในประเทศไทย โดยแบ่งการจัดเก็บข้อมูลตามกิจกรรมในงานก่อสร้างอย่างชัดเจนที่มีอยู่จริงในประเทศไทย ด้วยการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในปัจจุบัน อย่างเช่น อุปกรณ์วัดการเผาผลาญแคลอรี่ ดำเนินการวัด และบันทึกผลในหน่วยกิโลแคลอรีต่อนาที (kcal./minute) สามารถนำข้อมูลที่ได้นั้นมาใช้คำนวณการทำงานต่อเนื่องของคนงาน ระยะเวลาในการให้คนงานพักระหว่างการทำงานที่เหมาะสมต่อคนงานตามลักษณะกิจกรรมที่ทำ เพื่อผลิตภาพที่ดีในงานก่อสร้าง

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาพลังงานที่ต้องใช้สำหรับกิจกรรมต่างๆในงานก่อสร้าง โดยดำเนินการวัดค่าพลังงานต่อกิจกรรมในหน่วยกิโลแคลอรีต่อนาที (kcal./minute) ทั้งหมด 20 กิจกรรม และเพื่อให้ผู้ที่สนใจข้อมูล นำไปใช้ประโยชน์ในการบริหารคนงาน และการจัดเตรียมปริมาณอาหารให้เพียงพอต่อคนงานตามลักษณะกิจกรรม

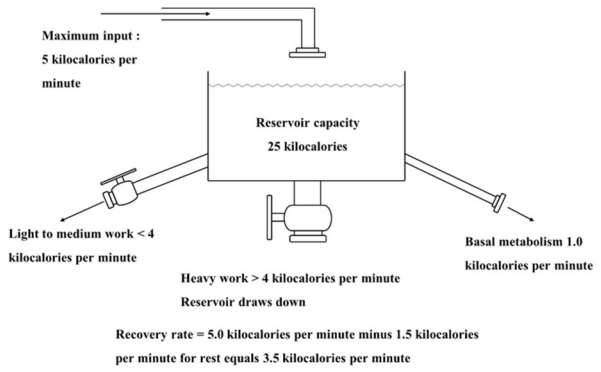
3. ขอบเขตการศึกษา

เพื่อศึกษาถึงพลังงานที่ใช้ในการทำกิจกรรมจากการเก็บข้อมูลที่เกิดขึ้นจากหน้างานจริง ทั้งหมด 20 กิจกรรม ได้แก่ (1)งานก่ออิฐมวลเบา (2)งานติดตั้งไม้แบบ (3)งานรื้อถอนไม้แบบ (4)งานติดตั้งนั่งร้าน (5)งานรื้อถอนนั่งร้าน (6)งานทาสี (7)งานผูกเหล็กโครงสร้าง (8)งานผสมปูนก่อฉาบ (9)งานเทคอนกรีตเสาโครงสร้าง (10)งานเทคอนกรีตพื้นโครงสร้าง (11)งานขุดปรับดิน (12)งานติดตั้งฝ้าเพดาน (13)งานสกัดหัวเสาเข็ม (14)งานฉาบปูนปาดหน้าพื้น (15)งานติดตั้งหลังคากระเบื้อง (16)งานฉาบปูนผนัง (17)งานฉาบปูนเสาและคาน (18)งานเชื่อมติดตั้งโครงสร้างเหล็ก (19)งานแต่งผิวสกิมโค้ท (20)งานขัดผิวสกิมโค้ท ของงานก่อสร้างในประเทศไทย และนำผลข้อมูลที่ได้จากการจัดเก็บนำมาวิเคราะห์ตัวอย่างถึงระยะเวลาที่สามารถในการทำงาน และระยะเวลาพักของคนงานในแต่ละงาน โดยการจัดเก็บข้อมูลนี้ไม่ได้รวมผลกระทบที่ทำให้เกิดการหยุดทำกิจกรรมของคนงาน เป็นการจัดเก็บค่าพลังงานระหว่างช่วงที่คนงานทำงานต่อเนื่องจนถึงระยะเวลาพักหรือเลิกงาน นำมาหาค่าเฉลี่ย ก่อนรวบรวมผลและสรุปข้อมูล เพื่อเป็นประโยชน์กับผู้รับเหมาในการวางแผนการใช้แรงงาน

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 พลังงานที่ต้องใช้ในการทำงานก่อสร้าง

วรรณวิทย์ [1] ได้กล่าวว่า กลไกร่างกายของมนุษย์บริโภคอาหารและน้ำเข้าไปในร่างกาย แล้วเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานโดยส่วนหนึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการดำเนินชีวิต และอีกส่วนหนึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการทำงาน ร่างกายของมนุษย์จึงต้องการอาหารเพื่อที่จะนำไปใช้ในการออกแรง ทำงาน ทำกิจกรรมต่างๆ ในการทำงานก่อสร้างมีการใช้พลังงานในแต่ละงานต่างกันตามลักษณะกิจกรรม ซึ่งการใช้พลังงานของร่างกายนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ งานเบาสามารถทำงานได้ต่อเนื่องโดยไม่ต้องหยุดพัก และงานหนักต้องทำไปหยุกพักไปเพื่อสะสมพลังงานขึ้นมาใหม่ ถ้าร่างกายบริโภคอาหารมาเพียงพอต่อการใช้พลังงานในการทำงาน ก็สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบการใช้พลังงานของมนุษย์สามารถอธิบายได้ด้วยการเปรียบเทียบให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นโดย “ ร่างกายมนุษย์เปรียบเสมือนแท็งค์น้ำ (Water Tank Analogy) โดยที่น้ำเข้าคือพลังงานที่ร่างกายผลิตขึ้นจากการรับประทานอาหารเท่ากับ 5 kcal./minute และร่างกายสะสมพลังงานได้โดยเฉลี่ยคือ 25 kcal. ซึ่งจะไหลออกไปใช้เป็นพลังงานเพื่อการดำรงชีวิต (Basic metabolism) ในอัตรา 1 kcal./minute



รูปที่ 1 Water Tank Analogy

4.2 วิธีการวัดค่าการใช้พลังงานทางกายจากอัตราการเต้นของหัวใจ

Hills และคณะ [2] ได้กล่าวว่าเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจเป็นเครื่องมือที่ใช้กันทั่วไปในการวัดการออกกำลังกายและการใช้พลังงาน Welsman, Armstrong. [3] ระบุว่าการใช้งานจะขึ้นอยู่กับสมมติฐานของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจ ความเข้มข้นของกิจกรรมและการใช้ออกซิเจน เนื่องจากกิจกรรมทางกายสามารถทำให้หัวใจเครียดและส่งออกซิเจนมากขึ้น Neil Armstrong [4] จากการออกแรงของกล้ามเนื้อเซลล์ ผลการศึกษาพบว่าอัตราการเต้นของหัวใจแตกต่างกันไปตามความเข้มของกิจกรรมและปริมาณการใช้ออกซิเจนในกิจกรรมทางกาย Schrask และคณะ [5] ศึกษาพบว่าเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจสามารถถูกรบกวนได้จากการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆเช่น ไมโครเวฟ โทรทัศน์ หรืออุปกรณ์ที่มีมอเตอร์เป็นส่วนประกอบ ส่งผลให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อน ข้อแนะในการลดปัญหาการรบกวนทางไฟฟ้า ได้แก่ การรักษาเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจให้ห่างจากอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างน้อย 1 เมตร Montoye, Kemper [6] ถึงแม้จะมีข้อเสียในเรื่องการถูกรบกวนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในข้างต้น แต่เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจยังคงได้รับความนิยมในหมู่นักวิจัย เนื่องจากมีความได้เปรียบในด้านต้นทุนที่ค่อนข้างต่ำ การใช้งาน การให้ค่าความถูกต้อง และน่าเชื่อถือเกี่ยวกับการใช้พลังงาน [4]

4.3 การคำนวณการใช้พลังงานในการเผาผลาญแคลอรี่จากอัตราการเต้นของหัวใจ

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจและการใช้พลังงานสามารถคำนวณแคลอรี่ที่ร่างกายเผาผลาญได้ จากการนำค่าตัวแปรมาใช้ในการคำนวณ โดยส่วนประกอบของสมการในการคำนวณนั้นประกอบด้วย ค่าอัตราการเต้นของหัวใจ อายุ น้ำหนัก เพศ และระยะเวลาในการออกแรงเป็นค่าตัวแปรสำคัญที่จะนำมาแทนในสมการ โดยที่การคำนวณจะแบ่งออกเป็น 2 สมการ สมการที่ใช้กับเพศชาย และสมการที่ใช้กับเพศหญิง จากการทดสอบโดยการเดินออกกำลังกายบนลู่วิ่ง Welk [7]

4.3.1 สมการการคำนวณการเผาผลาญแคลอรี่ของเพศชาย ได้แก่

$$EE = ((-55.0969 + (0.6309 \times HR) + (0.1988 \times W) + (0.2017 \times A))/4.184) \times 60 \times T \quad (1)$$

4.3.2 สมการการคำนวณการเผาผลาญแคลอรี่ของเพศหญิง ได้แก่

$$EE = ((-55.0969 + (0.6309 \times HR) + (0.1988 \times W) + (0.2017 \times A))/4.184) \times 60 \times T \quad (2)$$

เมื่อ (EE) = การใช้พลังงาน (กิโลแคลอรี่)
(HR) = อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้ง/นาที)
(W)) = น้ำหนัก (กิโลกรัม)
(A) = อายุ (ปี)
(T) = ระยะเวลา (ชั่วโมง)

4.4 การประเมินราย 5 นาที

กระบวนการในการประเมินราย 5 นาที (Five-minute Rating) มีหลักการ คือตรวจสอบการทำงานของกลุ่มคนงานว่ามีประสิทธิภาพ (Effective) หรือไม่ โดยกำหนดจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดให้ชัดเจน และควรนำกระบวนการประเมินราย 5 นาทีใช้กับกิจกรรมที่ทำซ้ำกัน เช่น งานติดตั้งแผ่นผนังคอนกรีต เป็นต้น โดยจุดประสงค์ของการประเมินราย 5 นาทีคือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของงานให้สูงขึ้น และมีค่าใช้จ่ายน้อยลง [1]

การนำทฤษฎีการประเมินราย 5 นาทีมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาค้นหว้าอิสระครั้งนี้ คือการนำการประเมินราย 5 นาทีมาใช้กับการตรวจสอบการทำงานรายบุคคล พร้อมดำเนินการบันทึกค่าอัตราการเต้นของหัวทุก 5 นาทีเพื่อหาค่าเฉลี่ยไปพร้อมกัน

4.5 การคำนวณระยะเวลาที่คนงานสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง

ร่างกายของมนุษย์มีความจุพลังงาน 25 kcal สามารถผลิตพลังงานได้ 5 kcal./minute นาที กิจกรรมการทำงานที่ใช้พลังงานมากกว่า 5 kcal./minute เมื่อทำงานไประยะหนึ่งต้องหยุดพักเพื่อให้ร่างกายได้ผลิตพลังงานขึ้นมาใหม่ เพราะพลังงานที่ใช้ในการทำงานมากกว่าพลังงานที่ร่างกายสามารถผลิตขึ้นมาได้ [1]

ยกตัวอย่างการคำนวณระยะเวลาที่คนงานสามารถทำงานได้ต่อเนื่องจากการกิจกรรมงานขุดดิน กำหนดให้งานขุดดินใช้พลังงานในการทำงานที่อัตรา 7.5 kcal./minute นาที

4.5.1 สมการการคำนวณระยะเวลาที่คนงานสามารถทำงานได้

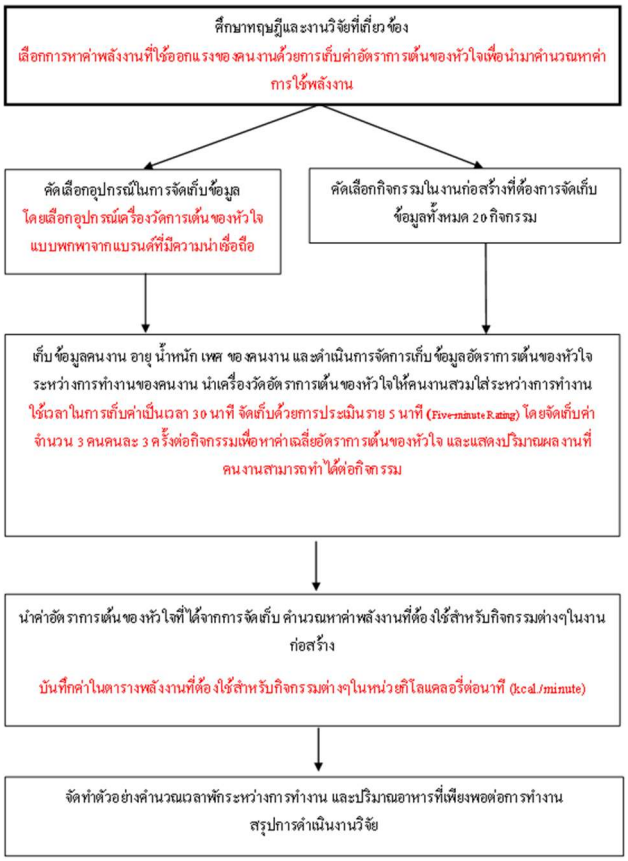
$$25\ kcal. + (5\ kcal./นาที \times เวลาที่ทำงาน,\ นาที) = 7.5\ kcal./นาที \times เวลาที่ทำงาน,\ นาที \text{ แก้สมการได้ } = 10 \text{ นาที} \quad (3)$$

4.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการเลือกอุปกรณ์การวัดอัตราการเต้นของหัวใจ

Keytel และคณะ [8] กล่าวว่าการเลือกอุปกรณ์การวัดอัตราการเต้นของหัวใจ อุปกรณ์การวัดค่าพลังงาน และอัตราการเต้นของหัวใจแบบพกพาอย่างสมาร์ทวอทช์เป็นที่นิยมใช้กันมากในหมู่นักวิจัย เพราะสินค้าแต่ละแบรนด์มีการแข่งขัน การพัฒนาคุณภาพสินค้าให้มีความน่าเชื่อถือถึงความแม่นยำของตัวอุปกรณ์ จากการสำรวจสิ่งพิมพ์ทางการแพทย์ 158 รายการ พบว่ามีแบรนด์อุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมจากนักวิจัยถึง 9 แบรนด์ ได้แก่ (1)Apple (2)Fitbit (3)Garmin (4)Mio (5)Misfit (6)Polar (7)Samsung (8)Withings (9)Xiaomi จากการเก็บข้อมูลพบว่า แบรนด์ Fitbit ได้รับความนิยมในการใช้เพื่อศึกษาวิจัยมากที่สุด แบรนด์ที่มีความแม่นยำมากที่สุดได้แก่ Apple Fitbit และ Garmin โดยให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าในห้องปฏิบัติการ

5. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเอกสาร ตำราวิชาการ บทความ ข้อมูลสื่อสารสนเทศ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และดำเนินการเก็บค่าอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างการทำงานในงานก่อสร้าง นำค่าที่ได้มาคำนวณตามทฤษฎีเพื่อหาค่าพลังงานที่ใช้ในการทำงาน หาค่าเวลาพักระหว่างการทำงานที่เหมาะสมในแต่ละงาน และแสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณอาหารให้เพียงพอต่อคนงานในแต่ละงาน เพื่อสามารถทำให้คนงานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้ผลผลิตจากงานก่อสร้างที่ดี



รูปที่ 2 แผนภาพขั้นตอนการวิจัย

6. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือสำคัญที่นำมาจัดเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ คืออุปกรณ์เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบพกพา หรือนาฬิกาสมาร์ทวอทช์ แบรนด์ Garmin รุ่น Venu Sq มีเซนเซอร์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ สามารถอ่านอัตราการเต้นของหัวใจได้อัตโนมัติอย่างต่อเนื่องแบบเรียลไทม์ มีเซนเซอร์ GPS อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว เพิ่มความแม่นยำในการแสดงผล

รูปที่ 3 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ แบรนด์ Garmin รุ่น Venu Sq

รูปที่ 4 เซนเซอร์วัดอัตราการเต้นของหัวใจด้านหลังเครื่องวัด

7. การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลของงานวิจัยนี้เป็นการเก็บข้อมูลอัตราการเต้นของหัวใจ เพศ อายุ และน้ำหนักของคนงานตามรายกิจกรรม จัดเก็บกิจกรรมละ 3 คน คนละ 3 ครั้ง เพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้กิจกรรมในงานก่อสร้าง โดยเข้าจัดเก็บข้อมูลกิจกรรมในงานก่อสร้างในพื้นที่โครงการก่อสร้าง 3 โครงการ ได้แก่ (1)โครงการก่อสร้างอาคารศูนย์วิจัย สถาบันจุฬาภรณ์ (2)โครงการก่อสร้างทางเชื่อมทางเดินลอยฟ้า (Skywalk) ระหว่างโรงพยาบาลจุฬาภรณ์ และสถานีรถไฟชานเมืองสายสีแดงหลักสี่ การรถไฟแห่งประเทศไทย และ (3)โครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัย เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ

ตัวอย่างการดำเนินการจัดเก็บข้อมูลกิจกรรม (งานขุดปรับหน้าดิน) โดยมีวิธีการทำงานงานขุดปรับหน้าดินด้วยแรงคน คนงานดำเนินการใช้จอบขุดปรับหน้าดิน และทำการเกลี่ยทราย เพื่อเตรียมพื้นที่ก่อนขั้นตอนการเทลีนคอนกรีต

รูปที่ 5 การทำงานขุดปรับดินคนงานชาย

ตารางที่ 7-1 การจัดเก็บข้อมูลกิจกรรมขุดปรับดินของคนงานชาย จัดเก็บด้วยการประเมินราย 5 นาที คนที่ 1 ครั้งที่ 1

งานขุดปรับหน้าดินด้วยแรงคน คนที่ 1 ครั้งที่ 1			
เวลาเริ่ม	EFFECTIVE	กิจกรรม	อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที)
8.40	√	ขุดปรับหน้าดิน	123
8.45	√	ขุดปรับหน้าดิน	
8.50	√	ขุดปรับหน้าดิน	
8.55	√	ขุดปรับหน้าดิน	
9.00	√	ขุดปรับหน้าดิน	
9.05	√	ขุดปรับหน้าดิน	
รวม	6	อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย	
การคำนวณ			
6 เวลา ช่าง 1 คน			
TOTAL MAN UNITS = 6 x 1 = 6			
EFFECTIVE = 6			
EFFECTIVENESS (6/6) x 100 = 100%			
ได้ปริมาณในการทำงานทั้งหมด = ขุดปรับหน้าดินพื้นที่23.33 ตร.ม.			

ตารางที่ 7-2 ข้อมูลของคนงาน อายุ น้ำหนัก เพศ ของคนงาน และอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในงานขุดปรับดินของคนงานชาย

กิจกรรม		งานขุดปรับหน้าดิน	
เพศ (ชาย/หญิง)		ชาย	
W	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	75	
A	อายุ (ปี)	39	
T	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	0.5	
HR	อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้ง/นาที)	ครั้งที่ 1	123 (ดังแสดงอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในตารางที่ 7-1 คือค่า 123)
		ครั้งที่ 2	120
		ครั้งที่ 3	121
	อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย	121.33	

นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าพลังงานที่ต้องใช้สำหรับกิจกรรมงานขุดปรับดินของคนงานชายโดยใช้สมการที่ 2-2 สมการการคำนวณการเผาผลาญแคลอรี่ของเพศชาย

แทนค่าลงในสมการ

EE = ((-55.0969 + (0.6309 x 121.33) + (0.1988 x 75) + (0.2017 x 39))/4.184) x 60 x 0.5

EE = 317.11 kcal

ค่าพลังงานที่ใช้สำหรับงานขุดปรับดินคนงานชาย คนที่ 1 เท่ากับ 317.11 kcal / 30 minute = 10.57 kcal/min

บันทึกลงในตารางแสดงการหาค่าเฉลี่ยพลังงานในที่ใช้ต่อกิจกรรม

ตารางที่ 7-3 ค่าเฉลี่ยพลังงานในที่ใช้ต่อกิจกรรม หน่วยกิโลแคลอรี่ต่อนาที (kcal./minute) และปริมาณงานที่ทำได้ของงานขุดปรับดินด้วยของคนงานชาย

คนงาน	การใช้พลังงาน	ปริมาณงานที่ทำได้
คนที่ 1	10.57	23.33 ตารางเมตร (ปรับหน้าดินพื้นที่ฐานโครงสร้างขนาด 70 ตร.ม.)
คนที่ 2	10.79	17.50 ตารางเมตร (ปรับหน้าดินพื้นที่ฐานโครงสร้างขนาด 70 ตร.ม.)
คนที่ 3	11.71	17.50 ตารางเมตร (ปรับหน้าดินพื้นที่ฐานโครงสร้างขนาด 70 ตร.ม.)
ค่าเฉลี่ย	11.02	19.44 ตารางเมตร (ปรับหน้าดินพื้นที่ฐานโครงสร้างขนาด 70 ตร.ม.)

นำค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในแต่ละกิจกรรมมาแสดงในตารางการสรุปผลการใช้พลังงานที่ใช้ต่อกิจกรรม หน่วยกิโลแคลอรีต่อนาที (kcal./minute)

ตารางที่ 7-4 การสรุปผลการใช้พลังงานที่ใช้ต่อกิจกรรม หน่วยกิโลแคลอรีต่อนาที (kcal./minute) และรายละเอียดในการเก็บข้อมูลของกิจกรรม

ลำดับ	กิจกรรม	การใช้พลังงาน, กิโลแคลอรีต่อนาที (kcal./min)	
		ชาย	หญิง
10.	งานเทคอนกรีตพื้นโครงสร้าง	11.57	N/A
11.	งานขุดปรับดิน	11.02(ดังแสดงค่าเฉลี่ยในตารางที่ 3-3 คือค่า 11.02)	N/A
12.	งานติดตั้งฝ้าเพดาน	4.29	N/A
13.	งานสกัดหัวเสาเข็ม	11.57	N/A

* N/A = Not Available กิจกรรมดังกล่าวไม่ใช้แรงงานผู้หญิง หรือแรงงานผู้ชายในกิจกรรม

8. การคำนวณเวลาพักระหว่างการทำงาน การประยุกต์นำข้อมูลการใช้พลังงานไปจัดเตรียมอาหารให้เพียงพอต่อการทำงาน

การคำนวณเวลาพักระหว่างการทำงาน หรือระยะเวลาที่คนงานสามารถออกแรงทำงานได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อหาระยะเวลาที่คนงานทำงานจนต้องหยุดพักเพื่อฟื้นฟูพลังงานขึ้นมาใหม่ ซึ่งร่างกายของมนุษย์ สามารถผลิตพลังงานได้ 5 กิโลแคลรี่ต่อนาที การที่คนงานที่ต้องออกแรงมากกว่าความสามารถของร่างกายที่ผลิตพลังงานได้นั้นจำเป็นต้องหยุดพักเพื่อให้ร่างการสะสมพลังงานขึ้นมาใหม่ และการบริโภคอาหารให้เพียงพอต่อการทำงาน มีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากร่างกายต้องใช้พลังงานจากอาหารที่บริโภคเข้าไปเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน การพักและการรับประทานอาหารให้เพียงพอจึงเป็นสิ่งสำคัญที่คนงานสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

8.1 ตัวอย่างการคำนวณระยะเวลาที่คนงานสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

นำค่าการใช้พลังงานจากตารางที่ 7-3 มาหาระยะเวลาที่คนงานสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยใช้สมการที่ 3

ตัวอย่างงานขุดปรับดินคนงานชาย

25 kcal. + (5 kcal./นาที x เวลาที่ทำงาน, นาที) = 11.02 kcal./นาที x เวลาที่ทำงาน, นาที

แก้สมการได้ = 4.15 หรือ 4 นาที 9 วินาที

แสดงว่าการทำงานขุดปรับดินคนงานชาย สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง 4.09 นาทีต้องหยุดพักเพื่อให้ร่างกายฟื้นฟูพลังงานขึ้นมาใหม่

นำค่าการคำนวณบันทึกลงในตารางแสดงระยะเวลาที่คนงานสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องในแต่ละกิจกรรม

ตารางที่ 8-1 ระยะเวลาที่คนงานสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องในแต่ละกิจกรรม

ลำดับ	กิจกรรม	การใช้พลังงาน		ระยะเวลาทำงานได้ต่อเนื่อง (นาที)
		ชาย	หญิง	
1.	งานก่ออิฐมวลเบา	5.43	4.44	58.08 / ทำงานได้ต่อเนื่อง
2.	งานติดตั้งไม้แบบ	6.54	N/A	16.14
3.	งานรื้อถอนไม้แบบ	8.21	N/A	8.47
4.	งานติดตั้งนั่งร้าน	9.33	N/A	6.46
5.	งานรื้อถอนนั่งร้าน	8.48	N/A	7.11
6.	งานทาสี	5.07	N/A	357.50
7.	งานผูกเหล็กโครงสร้าง	5.54	5.02	46.18 / 1,250.00
8.	งานผสมปูนก่อฉาบ	N/A	5.88	28.32
9.	งานเทคอนกรีตเสาโครงสร้าง	4.88	N/A	ทำงานได้ต่อเนื่อง
10.	งานเทคอนกรีตพื้นโครงสร้าง	11.57	N/A	4.47
11.	งานขุดปรับดิน	11.02	N/A	4.09
12.	งานติดตั้งฝ้าเพดาน	4.29	N/A	ทำงานได้ต่อเนื่อง
13.	งานสกัดหัวเสาเข็ม	11.57	N/A	4.49
14.	งานฉาบปูนปาดหน้าพื้น	7.18	N/A	12.28
15.	งานติดตั้งหลังคากระเบื้อง	4.99	N/A	ทำงานได้ต่อเนื่อง
16.	งานฉาบปูนผนัง	5.57	N/A	44.52
17.	งานฉาบปูนเสาและคาน	5.10	N/A	250.00
18.	งานเชื่อมติดตั้งโครงสร้างเหล็ก	4.83	N/A	ทำงานได้ต่อเนื่อง
19.	งานแต่งผิวสกิมโค้ท	4.92	N/A	ทำงานได้ต่อเนื่อง
20.	งานขัดผิวสกิมโค้ท	7.35	N/A	11.38

* N/A = Not Available กิจกรรมดังกล่าวไม่ใช้แรงงานผู้หญิง หรือ แรงงานผู้ชายในกิจกรรม

8.2 การคำนวณโดยการจัดเตรียมอาหารให้เพียงพอต่อการทำงาน

การคำนวณการใช้พลังงานเพื่อนำค่าพลังงานที่ได้ไปจัดเตรียมอาหารให้เพียงพอ เป็นการคำนวณหาค่าพลังงานในการทำงาน 4 ชั่วโมง หรือ 240 นาที เป็นช่วงระยะเวลาปกติในการทำงานของคนงานก่อนมีการพักรับประทานอาหาร หรือเลิกงาน มีวิธีคิดคำนวณด้วยการนำค่าการใช้พลังงานในแต่ละกิจกรรมคูณด้วยระยะเวลาที่คนงานทำงาน 240 นาที จะได้ค่าพลังงานงานที่ใช้ในการทำงานต่อกิจกรรม และค่าที่ได้มาหาปริมาณอาหาร ประเภทของอาหารที่นำมาเป็นตัวอย่างการคำนวณในครั้งนี้เป็นอาหารที่หาซื้อได้ตามร้านสะดวกซื้อ มีปริมาณของอาหาร และพลังงานต่อ 1 หน่วยบริโภค 3 ตัวอย่างดังนี้

ตารางที่ 8-2 ประเภทของอาหาร ปริมาณ และพลังงานต่อหนึ่งหน่วยบริโภค

ลำดับ	ประเภท	ปริมาณ (หน่วย)	พลังงาน (กิโลแคลอรี่)
1.	ข้าวไข่เจียว 1 กล่อง	240 กรัม	440
2.	อกไก่ 1 ชิ้น	90 กรัม	90
3.	นมถั่วเหลืองไวตามิ้ลค์ 1 ขวด	300 มิลลิลิตร	240

*ปริมาณและค่าพลังงานมาจากฉลากหลังผลิตภัณฑ์

นำค่าการใช้พลังงานที่ได้จากการจัดเก็บข้อมูลมาคำนวณหาค่าพลังงานในการทำงาน 240 นาที ยกตัวอย่างงานก่ออิฐมวลเบา ค่าพลังงานก่ออิฐมวลเบาใช้พลังงาน 5.43 kcal./นาที , สามารถทำงานต่อเนื่องได้ 58.08 นาที

หาจำนวนรอบในการทำงานต่อเนื่องรวมเวลาพักใน 240 นาที จะได้ 240 / (58.08+5) = 3.80 รอบ

มีเวลาในการทำงานต่อเนื่อง 58.08 * 3.80 = 220.70 นาที หรือ 220 นาที 42 วินาที

รวมพลังงานที่ใช้ในการทำงานต่อเนื่อง 220.42 นาที * 5.43 kcal./นาที = 1,196.88 kcal.

พลังงานที่ใช้ระหว่างการพักฟื้นฟู 240 – 220.42 = 19.35 นาที จะได้ 19.35 นาที * 1.02 kcal./นาที = 19.77 กิโลแคลอรี่

รวมพลังงานที่ใช้ในการทำงานก่ออิฐมวลเบา 240 นาที 1,196.88 + 19.77 = 1,216.65 kcal.

ได้ค่าพลังงานที่ใช้ในการทำงาน 240 นาที = 1,216.65 kcal. (กิโลแคลอรี่)

นำค่าพลังงานของอาหารต่อหนึ่งหน่วยบริโภคมาหาค่าพลังงานที่ใช้ในการทำงาน 240 นาที จะได้ปริมาณอาหารดังนี้ 1.ข้าวไข่เจียวให้พลังงาน 440 กิโลแคลอรี่ / ค่าพลังงานที่ใช้ทำงาน 2,645 กิโลแคลอรี่ = 2.77 กล่อง 2. อกไก่ให้พลังงาน 90 กิโลแคลอรี่ / ค่าพลังงานที่ใช้ทำงาน 2,645 กิโลแคลอรี่ = 13.53 ชิ้น 3.นมถั่วเหลืองให้พลังงาน 240 กิโลแคลอรี่ / ค่าพลังงานที่ใช้ทำงาน 2,645 กิโลแคลอรี่ = 5.07 ขวด

9. ผลการวิเคราะห์

จากการเก็บข้อมูลกิจกรรมในงานก่อสร้าง 20 กิจกรรม มีทั้งงานที่เป็นงานเบา และงานหนักซึ่งสามารถนำค่าพลังงานที่ดำเนินการจัดเก็บ และค่าระยะเวลาที่คนงานสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องมาจัดเรียงจากกิจกรรมที่ใช้พลังงานน้อยไปหากิจกรรมที่ใช้พลังงานมากในตารางสรุปค่าพลังงานที่ต้องใช้สำหรับ 20 กิจกรรมในหน่วยกิโลแคอรี่ต่อนาที (kcal./minute) เรียงลำดับจากกิจกรรมที่ใช้พลังงานน้อยไปหากิจกรรมที่ใช้พลังงานมาก และผลจากการดำเนินการจัดเก็บข้อมูลในครั้งนี้สามารถบอกถึงผลิตภาพในการทำงานของคนงานที่สามารถได้ผลงานจากการทำงานตามกิจกรรม ด้วยวิธีการการนำปริมาณงานที่ทำได้ มาคำนวณหาปริมาณของการทำงานในหนึ่งวันเป็นเวลา 4 ชม. หรือ 240 นาทีโดยทำงานแบบมีการหยุดพักระหว่าง

กิจกรรมตามทฤษฎี สรุปค่าในตารางผลิตภาพที่ได้จากเก็บข้อมูลการทำงานใน 20 กิจกรรม(ปริมาณงานที่ทำได้ใน 4 ชั่วโมง หรือ 240 นาที) ได้ดังนี้

ตารางที่ 9-1 ค่าพลังงานที่ต้องใช้สำหรับ 20 กิจกรรมในหน่วยกิโลแคอรี่ต่อนาที **(kcal./minute)** เรียงลำดับจากกิจกรรมที่ใช้พลังงานน้อยไปหากิจกรรมที่ใช้พลังงานมาก

ลำดับ	กิจกรรม	การใช้พลังงาน	
		ชาย	หญิง
1.	งานติดตั้งฝ้าเพดาน	4.29	N/A
2.	งานเชื่อมติดตั้งโครงสร้างเหล็ก	4.83	N/A
3.	งานเทคอนกรีตเสาโครงสร้าง	4.88	N/A
4.	งานแต่งผิวสกิมโค้ท	4.92	N/A
5.	งานติดตั้งหลังคากระเบื้อง	4.99	N/A
6.	งานทาสี	5.07	N/A
7.	งานฉาบปูนเสาและคาน	5.10	N/A
8.	งานก่ออิฐมวลเบา	5.43	4.44
9.	งานผูกเหล็กโครงสร้าง	5.54	5.02
10.	งานฉาบปูนผนัง	5.57	N/A
11.	งานผสมปูนก่อฉาบ	N/A	6.28
12.	งานติดตั้งไม้แบบ	6.54	N/A
13.	งานฉาบปูนปาดหน้าพื้น	7.18	N/A
14.	งานขัดผิวสกิมโค้ท	7.35	N/A
15.	งานรื้อถอนไม้แบบ	8.21	N/A
16.	งานรื้อถอนนั่งร้าน	8.48	N/A
17.	งานติดตั้งนั่งร้าน	9.33	N/A
18.	งานขุดปรับดิน	11.02	N/A
19.	งานเทคอนกรีตพื้นโครงสร้าง	11.57	N/A
20.	งานสกัดหัวเสาเข็ม	11.57	N/A

* N/A = Not Available กิจกรรมดังกล่าวไม่ใช้แรงงานผู้หญิง หรือ แรงงานผู้ชายในกิจกรรม

จากตารางที่ 9-1 จะเห็นได้ว่างานติดตั้งฝ้าเพดานเป็นงานที่ใช้พลังงานในการทำงานน้อยที่สุด และงานที่ใช้พลังงานงานมากที่สุดได้แก่งานเทคอนกรีตพื้นโครงสร้าง และงานสกัดหัวเสาเข็มที่ใช้พลังงานในการทำงานเท่ากัน

ตารางที่ 9-2 ผลิตภาพที่ได้จากเก็บข้อมูลการทำงานใน 20 กิจกรรม(ปริมาณงานที่ทำได้ใน 4 ชั่วโมง หรือ 240 นาที)

ลำดับ	กิจกรรม	ปริมาณงานที่ได้
1.	งานติดตั้งฝ้าเพดาน	20.96 ตารางเมตร
2.	งานเชื่อมติดตั้งโครงสร้างเหล็ก	470.88 กิโลกรัม
3.	งานเทคอนกรีตเสาโครงสร้าง	24.00 ลูกบาศก์เมตร
4.	งานแต่งผิวสกิมโค้ท	29.28 ตารางเมตร
5.	งานติดตั้งหลังคากระเบื้อง	30.00 ตารางเมตร
6.	งานทาสี	96.00 ตารางเมตร
7.	งานฉาบปูนเสาและคาน	32.00 ตารางเมตร
8.	งานก่ออิฐมวลเบา	10.58 (ช) / 7.36 (ญ) ตารางเมตร
9.	งานผูกเหล็กโครงสร้าง	6.56 (ช) / 5.2 (ญ) กิโลกรัม
10.	งานฉาบปูนผนัง	100.55 ตารางเมตร
11.	งานผสมปูนก่อฉาบ	0.88 (ญ) ลูกบาศก์เมตร
12.	งานติดตั้งไม้แบบ	110.74 ตารางเมตร
13.	งานฉาบปูนปาดหน้าพื้น	119.24 ตารางเมตร
14.	งานขัดผิวสกิมโค้ท	33.29 ตารางเมตร
15.	งานรื้อถอนไม้แบบ	20.02 ตารางเมตร
16.	งานรื้อถอนนั่งร้าน	76.51 ชุด
17.	งานติดตั้งนั่งร้าน	55.55 ชุด
18.	งานขุดปรับดิน	69.72 ตารางเมตร
19.	งานเทคอนกรีตพื้นโครงสร้าง	143.35 ลูกบาศก์เมตร
20.	งานตัดและสกัดหัวเสาเข็ม	2.83 คิว

10. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสรุปได้ว่าผลิตภาพของงานก่อสร้างที่มาจากการทำงานของมนุษย์ในที่นี้คือคนงานก่อสร้าง ซึ่งการออกแรงทำงานในแต่ละกิจกรรมของคนงานนั้นไม่เท่ากัน บางกิจกรรมออกแรงน้อย บางกิจกรรมออกแรงมาก การดำเนินงานจัดเก็บข้อมูลครั้งนี้เพื่อค้นหาว่ากิจกรรมในการก่อสร้างนั้นแต่ละกิจกรรมใช้ค่าพลังงานในการก่อสร้างเท่าไหรในหน่วยกิโลแคลอรี่ต่อนาที (kcal./minute) ซึ่งสามารถนำค่าพลังงานที่ได้จากการจัดเก็บข้อมูลมาคำนวณหาระยะเวลาที่คนงานสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง กิจกรรมที่ได้ค่าพลังงานไม่ถึง 5 กิโลแคลอรี่ต่อนาที นับว่าเป็นงานเบาคือสามารถทำงานได้เรื่อยๆโดยไม่ต้องหยุดพัก เนื่องจากร่างกายของมนุษย์สามารถฟื้นฟูพลังงานได้ 5 กิโลแคลอรี่ต่อนาที ส่วนกิจกรรมที่ต้องใช้พลังงานมากกว่า 5 กิโลแคลอรี่ต่อนาทีนั้น นับว่าเป็นงานหนัก คือต้องมีการหยุดพักเพื่อให้ร่างกายได้เก็บสะสมพลังงานและฟื้นฟูขึ้นมาใหม่ได้ การศึกษาในครั้งนี้ผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมดังนี้

1) การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในการค้นคว้าอิสระครั้งนี้เป็นการเก็บข้อมูลของกิจกรรมการทำงานต่างๆที่มีอยู่ในพื้นที่โครงการก่อสร้างทั้ง 3 โครงการ โดยกิจกรรมหลายกิจกรรมสามารถเก็บข้อมูลได้แต่คนงานชาย ไม่มีการใช้คนงานหญิงในการทำงาน ซึ่งที่จริงแล้วสามารถใช้คนงานหญิงในการทำงานได้ และสามารถเก็บข้อมูลจากการทำงานของคนงานหญิงในลักษณะกิจกรรมเดียวกัน
2) การเก็บข้อมูลในครั้งนี้ ไม่ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการฟื้นฟูพลังงานของคนงาน ซึ่งเป็นข้อมูลส่วนบุคคลที่ไม่ได้ศึกษา และเป็นข้อจำกัดในการศึกษาข้อมูลครั้งนี้
3) ช่วงเวลาที่จัดเก็บข้อมูล มีการกำหนดระยะเวลาที่เหมือนกันทุกกิจกรรม จะจัดเก็บข้อมูลช่วงเวลลา 08.00 น. ถึง 16.00 น. เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดในกิจกรรมเดียวกัน

4) สภาพอากาศในการจัดเก็บข้อมูล ยังเป็นอุปสรรคที่สามารถทำให้ข้อมูลที่ได้นั้น เกิดการคลาดเคลื่อน เนื่องจากไม่สามารถควบคุมสภาพอากาศในแต่ะวันได้ การจัดเก็บข้อมูลครั้งนี้ผู้ค้นคว้าพยายามจัดเก็บข้อมูลในกิจกรรมเดียวกันในสภาพอากาศที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด
5) การจัดเก็บข้อมูลครั้งนี้ ไม่ได้ควบคุมเรื่องการรับประทานอาหารของคนงาน เป็นการจัดเก็บข้อมูลจากคนงานที่ทำงานอยู่หน้างานจริง โดยมิได้ตระเตรียมอาหารให้แก่คนงาน อาจจะมีผลต่อการออกแรงของคนงาน ในอนาคตผู้ที่สนใจในการเก็บข้อมูลเรื่องนี้สามารถกำหนดจัดเตรียมอาหารให้แก่คนงานที่เพียงพอต่อการทำงาน เพื่อให้ได้ผลการเก็บข้อมูลที่ดีมากขึ้น

11. เอกสารอ้างอิง

[1] วรรณวิทย์ แต้มทอง (2554). การเพิ่มผลิตภาพในการก่อสร้าง. ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. หน้า 87-90.
[2] Hills AP, Mokhtar N and Byrne NM (2014). Assessment of physical activity and energy expenditure: an overview of objective measures
[3] Joanne Welsman, Neil Armstrong. (1998). Physical Activity Patterns of 5 to 7-Year-Old Children and Their Mothers. European Journal of Physical Education 3:2, pages 145-155.
[4] Neil Armstrong (1998). Young people's physical activity patterns as assessed by heart rate monitoring, Journal of Sports Sciences, 16:sup1, pp. 9-16
[5] Schrask JA, Zipunnikov V, et al. (2014). Estimating Energy Expenditure from Heart Rate in Older Adults.
[6] Montoye HJ, Kemper HC, et al. (1996). Measuring physical activity and energy expenditure
[7] Welk GJ (2002). Use of accelerometry-based activity monitors to assess physical activity.
[8] Keytel LR, Goedecke JH, et al. (2005). Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise.
[9] Daniel Fuller,Emily Colwell, et al. (2020). Reliability and Validity of Commercially Available Wearable Devices for Measuring Steps, Energy Expenditure, and Heart Rate